

Aus der Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen
Deutsches Herzzentrum München des Freistaates Bayern
Direktor: Professor Dr Werner Rudolph

Hämodynamische Untersuchungen bei Patienten mit künstlicher
Aorten- oder Mitralklappe auf verschiedenen Belastungsstufen.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Felicitas Kraus
aus
München
1981

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Werner Rudolph
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Eberhard Buchborn
Dekan:	Prof. Dr. Wolfgang Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	8. Oktober. 1981



Herz

Kardiovaskuläre Erkrankungen

Sonderdruck

F. Kraus, W. Rudolph

Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen (Direktor: Prof. Dr. W. Rudolph),
Deutsches Herzzentrum München

**Hämodynamische Untersuchungen bei Patienten
mit künstlicher Aorten- oder Mitralklappe
auf verschiedenen Belastungsstufen**

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck – auch von Abbildungen –, Vervielfältigung jeder Art, Vortrag, Funk- und Fernsehsendung sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – vorbehalten. Von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen dürfen nur einzelne Exemplare zum persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch hergestellt werden. Jede im Bereich eines gewerblichen Unternehmens zulässig hergestellte oder benutzte Kopie dient gewerblichen Zwecken gem. § 54 (2) UrhG und verpflichtet zur Gebührenzahlung an die VG Wort, Abteilung Wissenschaft, Goethestraße 49, D-8000 München 2, von der die einzelnen Zahlungsmodalitäten zu erfragen sind. © Urban & Schwarzenberg 1981.

Eine Markenbezeichnung kann warenzeichenrechtlich geschützt sein, auch wenn bei ihrer Verwendung in dieser Zeitschrift das Zeichen ® oder ein anderer Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlen sollte.

Urban &
Schwarzenberg

F. Kraus, W. Rudolph

Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen (Direktor: Prof. Dr. W. Rudolph), Deutsches Herzzentrum München

Häodynamische Untersuchungen bei Patienten mit künstlicher Aorten- oder Mitralklappe auf verschiedenen Belastungsstufen

Zusammenfassung

Ausgehend von der erbrachten Leistung, wurde bei Patienten mit künstlicher Aorten- oder Mitralklappe untersucht, in welcher Häufigkeit und in welchem Ausmaß pathologische Druck-Fluß-Steigerungen unter Belastung auftreten und ob aus der Leistungsfähigkeit ein Rückschluß auf häodynamische Veränderungen unter Belastung möglich ist.

Zur Festlegung der individuellen Belastbarkeit wurde ein submaximales Belastungs-Verfahren nach dem Steady-state-Prinzip gemäß WHO gewählt und die Solleistung, orientiert an der maximalen aeroben Kapazität einer gesunden Vergleichspopulation, festgesetzt. Unter gleichzeitiger Messung von Herzfrequenz, Blutdruck, Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen wurden 42 Patienten mit künstlicher Aorten- und 33 Patienten mit künstlicher Mitralklappe zu 50% und, wenn möglich, zu 75% sowie 100% ihres Sollwertes belastet.

Die Ergebnisse zeigen, daß eine gute Leistungsfähigkeit bei Patienten mit künstlicher Aortenklappe in 75 bis 90% mit normalem Druck-Fluß-Verhalten einhergeht. Die selten auftretenden Normabweichungen von Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen bei Patienten guter Leistungsfähigkeit sind auf niedriger Belastungsstufe leicht bis mäßiggradig, können aber auf höheren Belastungsstufen deutlich zunehmen. Dagegen geht bei Patienten mit künstlicher Mitralklappe die gute Leistungsfähigkeit in über 80% mit ausgeprägten Normabweichungen von Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen bereits auf niedriger Belastungsstufe einher.

Da bei Patienten mit künstlicher Aorten- oder Mitralklappe ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen erbrachter Leistung und dem Vorhandensein bzw. Ausmaß pathologischer Druck-Fluß-Steigerungen nicht zu erkennen war, ist im Rahmen ihrer Betreuung eine Belastungsuntersuchung mit Messung häodynamischer Parameter zur Festlegung der Belastbarkeit erforderlich. Das Auftreten abnormer häodynamischer Veränderungen unter Belastung wird meist bereits auf der ersten Stufe erkennbar. Auf häodynamische Messungen kann nur bei Patienten mit künstlicher Aortenklappe und guter Leistungsfähigkeit verzichtet werden, wenn gewährleistet ist, daß sich der Patient nur bis zu 50% seiner Solleistung belastet. Patienten mit künstlicher Mitralklappe ist ohne genaue häodynamische Messung unter Belastung eine weitgehende körperliche Schonung zu empfehlen.

Summary: Hemodynamic assessment of patients with aortic or mitral valve replacement during exercise

In patients with prosthetic aortic or mitral valves, hemodynamic studies during exercise have served to mediate assessment of valve replacement based on performance at comparable workloads prior to and after surgery as well as to evaluate the characteristics of various valve types at a fixed workload [1, 3–5, 11, 13, 14, 20]. This investigation, employing graded exercise workloads, was carried out to determine the individual performance limit; that is, the exercise capacity which can be achieved with normal increases in pulmonary artery pressure and cardiac output.

The study group consisted of 75 patients with a normally-functioning prosthesis, no paravalvular regurgitation, no additional valvular or cardiovascular lesions and no concomitant disease rendering compromised exercise capacity. Forty-two patients, mean age 46.8 years, had undergone aortic valve replacement (20 with Hancock or Carpentier-Edwards bioprostheses in sizes from 27 to 31 and 22 with Björk-Shiley mechanical prostheses in sizes from 23 to 31) for aortic stenosis (with a valve orifice area index of less than $0.6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$) in 21 patients, eleven of whom had mild or moderate regurgitation and 21 patients with aortic regurgitation (regurgitation fraction greater than 40%), 16 of whom had mild or moderate stenotic components. At the time of the study, average 2.2 years postoperatively (range 0.5 to 4.9 years), all were in sinus rhythm. Thirty-three patients, mean age 49.4 years, had undergone mitral valve replacement (20 with Hancock or Carpentier-Edwards bioprostheses in sizes from 27 to 33 and 13 with Björk-Shiley prostheses, size 29 in two and 31 in the remainder) for mitral stenosis (valve orifice area index less than $1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$) in 21 patients, nine of whom had mild or moderate regurgitation and for mitral regurgitation (regurgitation fraction greater than 40%) in twelve patients, three of whom had mild or moderate stenotic components. At the time of investigation, average 2.1 years postoperatively (range 0.5 to 4.8 years), 15 of these patients (45.5%) were in sinus rhythm and 18 (54.5%) had atrial fibrillation. Exercise testing was carried out in the supine position (20°) on a bicycle ergometer at graded workloads of six minutes each calculated to be 50% (stage I), 75% (stage II) and 100% (stage III) of the maximal capacity in Watts predicted from nomograms with respect to 75% maximal oxygen uptake of age-sex-weight matched healthy control subjects. Prior to, during and after exercise a 6-lead electrocardiogram was continuously recorded, cuff pressure in the brachial artery measured at intervals of one minute and pulmonary artery pressure as well as cardiac output (7F Swan-Ganz balloon-tipped floatation catheter) during each stage were determined. The exercise capacity was designated as the maximal stage at which the patient could be exercised for at least three minutes and patients with aortic or mitral valve replacement were grouped with respect to their having voluntarily attained 50, 75 or 100% of their predicted exercise capacity. Data analysis was based on regression equations for the normal relationship between pulmonary artery pressure and cardiac output as well as between cardiac output and workload, respectively, with pathologically-elevated pulmonary artery pressure expressed as percent deviation from the norm and inadequate augmentation of cardiac output expressed as percent deficit [2, 6].

Of the 42 patients with aortic valve replacement, 28 (67%) reached 100% of their predicted exercise capacity. Thirteen (31%) reached 75% and one patient (2%) reached 50% of predicted capacity (Figure 1). At rest all patients attaining either 100 or 75% of their predicted capacity had normal pulmonary artery pressure and cardiac output. During stage I, 24 of 28

(86%) of those reaching 100% and 12 of the 13 patients (92%) reaching 75% demonstrated normal hemodynamics. During stage II, 24 of 28 (86%) of those reaching 100% and 10 of 13 (77%) reaching 75% maintained normal hemodynamics. Thus, no significant differences were demonstrated between those reaching 100% and those reaching 75% of predicted capacity. During stage III, 22 of 28 (78%) had normal hemodynamics. At rest, the one patient achieving only 50% had an elevated pulmonary artery pressure and, in stage I, an inadequate increase in cardiac output was observed (Figure 2). During stage I, in four patients reaching 100% capacity, the pulmonary artery pressure was found to be 15 to 30% above normal limits and in one of the latter the cardiac output was diminished 13%. In one patient attaining 75%, the pulmonary artery pressure increase was similarly 12.5% above normal while the increase in cardiac output was not compromised. During stage II, the pathological elevations in pulmonary artery pressure in four patients reaching 100% ranged between 25.5 and 54% and in two of these the cardiac output increase was 12 to 18% diminished. Three patients reaching 75% capacity showed increases in pulmonary artery pressure from 16 to 23% above normal as well as a 30% deficit in expected cardiac output increase in one of the latter. Thus, some individual patients reaching 100% predicted capacity demonstrated more markedly pathologic values than other patients attaining only 75% capacity. During stage III, excess pulmonary artery pressure increases in six patients ranged from 19 to 72% and cardiac output deficits in three patients from 10 to 23%. At rest, the patient achieving only 50% capacity was found to have a 67% abnormally elevated pulmonary artery pressure which increased during stage I to 121.5% with an associated 17% cardiac output deficit (Figure 3).

Of the 33 patients with mitral valve replacement, 15 (45.5%) reached 100% of their predicted exercise capacity, 16 (48.5%) reached 75% and two patients (6%) terminated exercise at 50% of their predicted capacity (Figure 1). At rest, 14 of 15 (93%) of those reaching 100% and 11 of 16 (69%) reaching 75% predicted capacity were found to have normal pulmonary artery pressure and cardiac output. During stage I, only two of 15 patients (13%) reaching 100% and three of 16 (19%) reaching 75% were found to have normal pulmonary artery pressure and cardiac output; the distribution remained identical during stage II. Thus, there were no significant differences between the latter two groups. During stage III, these patients achieving 100% capacity did so only at the cost of abnormal hemodynamics. At rest, both patients achieving only 50% capacity had normal pulmonary artery pressure and cardiac output; during stage I, both demonstrated a pathologically-elevated increase in pulmonary artery pressure and an inadequate increase in cardiac output (Figure 4). At rest, while only one of the patients reaching 100% was found to have an 18% increase in pulmonary artery pressure associated with a normal cardiac output, five of those reaching 75% demonstrated increases in pulmonary artery pressure from 19 to 43% and a cardiac output deficit in one of 10%. During stage I, 13 of the patients reaching 100% capacity demonstrated pathological elevations in the pulmonary artery pressure ranging from 12.5 to 82% (median 37%), nine of whom also were found to have cardiac output deficits from 10 to 30%. In contrast, in 13 patients achieving 75% capacity, increases in pulmonary artery pressure ranged from 25 to 118% (median 67.5%), eleven of whom also showed a 10 to 33% deficit in cardiac output. During stage II, in 13 patients reaching 100% capacity, the pulmonary artery pressure was found to be 20 to 95.5% (median 51%) above normal limits and in ten of these the increase in cardiac output was 17 to 29% diminished. In 13 patients reaching 75% capacity, the pulmonary artery pressure increase was 33.5 to 148% (median 68%) above normal and in all of the latter cardiac output deficits of 11 to 42% were seen. Thus, the extent of the pathologic changes in those reaching 100% was less marked than in those reaching 75%. During stage III, all 15 patients demonstrated a pathologically-elevated increase in pulmonary artery pressure ranging from 16.5 to 108.5% (median 53.5%), eleven of whom also showed cardiac output deficits of 16 to 29%. At rest, both patients achieving only 50% capacity had normal pulmonary artery pressure and cardiac output. During stage I, these two patients demonstrated a 21.5% and 100% increase in pulmonary artery pressure, respectively, both while maintaining normal cardiac output (Figure 5).

The results of this study show that both patients with aortic valve replacement as well as those with mitral valve replacement are able to perform surprisingly substantial degrees of exercise, the amount of which appears to be independent of, or only limitedly dependent on, the presence or extent of hemodynamic alterations.

That is, these data reveal a clear discrepancy in that a normal or near-normal exercise capacity may be associated with markedly pathologic hemodynamics and, conversely, premature termination of exercise does not preclude the presence of a normal pressure-flow relationship. Thus, the exercise capacity bears little relation to the hemodynamic status and does not enable assessment of alterations incurred during exercise in either patients with prosthetic aortic or mitral valves.

Since the pathologic response in almost all patients with mitral valve replacement and more than half of those with aortic valve replacement could already be detected at the initial workload in those in whom it was subsequently found to develop, for routine testing the use of stage I is indicated. This is also supported by the finding that patients achieving 50% capacity with no significant pathologic alterations can generally maintain normal hemodynamics, or at most demonstrate only minimal compromise, through the incremented workloads and, thus, may be allowed to exercise to 100% capacity. On the other hand, should markedly abnormal hemodynamics be found at the initial stage, a trial at an even lower workload, for example 25% of predicted capacity, may be advisable to accurately determine the exercise capacity attainable without abnormal hemodynamics. In patients with only minimally or moderately abnormal values at the initial stage, incremented workloads seem warranted to rule out the possibility of progressively pathologic pressure increases with their attendant detrimental sequels; otherwise, these patients should not be exposed to higher workloads. In patients with aortic valve replacement, an additional implication for the management is that since achievement of 75 or 100% of predicted capacity was associated with either minimal or no pathologic alterations, hemodynamic studies in those who are able to perform at these levels can be deferred if the patient is willing to restrict physical activity to the equivalent of 50% of predicted capacity. Patients with mitral valve replacement who cannot undergo hemodynamic investigation should be advised to limit physical activities to a minimum.

Neither subjective complaints, the heart rate response nor the ability to maintain steady-state heart rate and blood pressure conditions throughout the incremented workloads have meaningful bearing on the status of the pressure-flow relationship. While a pathologically-elevated heart rate response in patients with mitral valve replacement was always associated with abnormal hemodynamics, a normal heart rate increase did not preclude the presence of pathologic pressures or flows. The varying response of pulmonary artery pressure and cardiac output during exercise in patients with aortic or mitral valve replacement appears dependent on a number of factors, the most important of which include valve type and size, pulmonary arteriolar resistance and left ventricular function [9, 10, 12, 15, 16, 19].

Messungen hämodynamischer Parameter unter Belastung wurden bei Patienten mit künstlicher Aorten- oder Mitralklappe bereits unter verschiedenen Fragestellungen durchgeführt. So liegen prä- und postoperative Untersuchungen zur Beurteilung des Operationsergebnisses sowie Messungen hämodynamischer Parameter zur Evaluierung verschiedener Klappentypen bei jeweils vergleichbarer bzw. identischer Leistung vor [1, 3–5, 11, 13, 14, 20]. Untersuchungen, die die Hämodynamik auf verschiedenen Belastungsstufen erfassen, um die individuelle Belastbarkeit festzulegen, das heißt die Leistung, die mit normalem Druck- und Herzminutenvolumenanstieg bewältigt wird, sind bisher nur in begrenztem Umfang vorgenommen worden [8]. Diese Frage ist bei der Betreuung von Patienten mit künstlichen Herzklappen von Bedeutung, da bei Überschreitung einer Belastung, die zu einem erhöhten Druckanstieg führt, mit dauerhaften Schäden gerechnet werden muß [7].

Für die vorliegende Untersuchung wurde deshalb ein rektangulär progressives Belastungsschema nach dem steady-state-Prinzip mit gleichzeitiger Messung von Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen gewählt, das sich an der maximalen aeroben Kapazität einer gesunden Vergleichspopulation orientiert. Ein solches Vorgehen ermöglicht sowohl eine genaue Einstufung der individuellen Belastbarkeit als auch über die Zusammenfassung von Patientengruppen allgemein gültige Aussagen.

Krankengut und Methodik

75 Patienten mit künstlicher Herzklappe in Aorten- oder Mitralsposition, die eine einwandfreie Funktion der künstlichen Klappe, keine klinisch nachweisbare paravalvuläre Regurgitation, kein zusätzliches Vitium, keine sonstige organische Herzerkrankung und keine die körperliche Leistungsfähigkeit beeinflussende Begleiterkrankung aufwiesen, wurden für die Untersuchung ausgewählt.

Unter 42 Patienten mit künstlicher *Aortenklappe* befanden sich 38 Männer und vier Frauen. Zum Zeitpunkt der Belastung betrug das mittlere Lebensalter dieser Patienten 46,8 Jahre (25,9 bis 68 Jahre). Zwischen Operation und Belastungsuntersuchung lagen im Mittel 2,2 Jahre (0,5 bis 4,9 Jahre). Präoperativ bestand bei 21 Patienten eine Aortenstenose, die bei elf Patienten mit einer leicht- oder mäßiggradigen Insuffizienz einherging. 21 Patienten wiesen eine Aor-

teninsuffizienz auf, 16 davon mit leicht- oder mäßiggradiger Stenosekomponente. Patienten mit Aortenvitien hatten präoperativ eine beträchtliche bzw. schwere Aortenstenose (Klappenöffnungsfläche unter 0,6 bzw. unter 0,3 cm²/m²) oder eine beträchtliche bzw. schwere Aorteninsuffizienz (Regurgitationsfraktion über 40 bzw. über 60%). Lediglich bei einem Patienten lag im Rahmen eines dissezierenden Aortenaneurysmas eine mäßiggradige Regurgitation (unter 40%) vor. Im vorliegenden Krankengut waren ausschließlich Bio- und Björk-Shiley-Scheiben-Prothesen implantiert worden, 20 Bioprothesen (Hancock und Carpentier-Edwards) der Größen 27 bis 31 und 22 Björk-Shiley-Klappen der Größen 23 bis 31. Bei allen Patienten bestand zum Zeitpunkt der Belastungsuntersuchung Sinusrhythmus.

Von 33 Patienten mit künstlichen *Mitralklappen* waren zwölf Männer und 21 Frauen. Das mittlere Lebensalter betrug zum Zeitpunkt der Belastung 49,4 Jahre (25,8 bis 66,7 Jahre). Zwischen Operation und Belastungsuntersuchung lag ein Zeitraum von 2,1 Jahren (0,5 bis 4,8 Jahre). Präoperativ bestand bei 21 Patienten eine Mitralsstenose, davon bei neun Patienten ein kombiniertes Vitium mit leichter oder mäßiggradiger Insuffizienz. Zwölf Patienten wiesen eine Mitralsinsuffizienz auf, in drei Fällen lag zusätzlich eine leichte oder mäßiggradige Stenosekomponente vor. Patienten mit Mitralfehlern hatten präoperativ eine beträchtliche bzw. schwere Mitralsstenose (Klappenöffnungsfläche unter 1 bzw. unter 0,5 cm²/m²) oder eine beträchtliche bzw. schwere Mitralsinsuffizienz (Regurgitationsfraktion über 40 bzw. über 60%). Auch in dieser Patientengruppe waren ausschließlich biologische Prothesen und Björk-Shiley-Klappen implantiert worden, 20 Bio-Prothesen (Hancock und Carpentier-Edwards) und 13 Björk-Shiley-Klappen. Die Größe der Bio-Prothesen lag zwischen 27 und 33; mit Ausnahme von zwei Klappen der Größe 29 lag bei den Björk-Shiley-Prothesen ausschließlich die Größe 31 vor. Zum Zeitpunkt der Belastung bestand bei 15/33 (45,5%) der Patienten Sinusrhythmus und bei 18/33 (54,5%) Vorhofflimmern.

Nach Einführen eines Swan-Ganz-Katheters in die Arteria pulmonalis wurden alle Patienten mittels Fahrradergometrie gemäß den Empfehlungen der WHO submaximal nach dem steady-state-Verfahren belastet [2, 17]. Die höchste geforderte Leistung in Watt (Sollwert) wurde dem Nomogramm von Shephard als Funktion von Alter, Geschlecht und Körpergewicht

entnommen und entspricht 75% der maximalen aeroben Kapazität von gesunden Erwachsenen in durchschnittlichem Trainingszustand. Bei allen Patienten wurden in Ruhe und unter Belastung EKG, arterieller Druck, Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen registriert. Die Belastung erfolgte in liegender Position (20°) an einem drehzahlunabhängigen Fahrradergometer bei 60 U/min soweit möglich in drei kontinuierlichen Stufen von jeweils sechs Minuten Dauer mit 50% (Belastungsstufe I), 75% (Belastungsstufe II) und 100% (Belastungsstufe III) des ermittelten Sollwertes. Leistungsgrenze war die Stufe, auf der sich der Patient mindestens drei Minuten belastete. Ein vorzeitiger Belastungsabbruch wurde, wenn nicht aus klinischen Abbruchkriterien indiziert, aufgrund subjektiver Beschwerden wie Versagen der Beinmuskulatur, Erschöpfung, Atemnot oder Herzklopfen vom Patienten selbst bestimmt.

Vor, während und bis mindestens sechs Minuten nach Belastung wurden mittels eines Acht-Kanal-Schreibers fortlaufend die Ableitungen I, II, III, V₂, V₄, V₆ des Elektrokardiogramms mitregistriert. Systolischer und diastolischer Blutdruck nach Riva-Rocci wurden vor, während – in einminütigem Abstand – unmittelbar sowie drei und sechs Minuten nach Belastung gemessen. Die intravasale Druckmessung im kleinen Kreislauf erfolgte kontinuierlich mit Hilfe eines dreilumigen Ballonkatheters mit Thermistor (Swan-Ganz 7F) in Ruhe und auf jeder Belastungsstufe [18]. Die Druckkurven wurden über einen elektromechanischen Druckwandler (Statham-T-23DB) und einen Träger-Frequenz-Verstärker mit einem Acht-Kanal-Schreiber registriert. Die Bestimmung des Herzminutenvolumens erfolgte nach der Thermodilutionsmethode mit dem gleichen dreilumigen Ballonkatheter mit Thermistor in Ruhe und am Ende jeder Belastungsstufe unter Verwendung eines Computers (HZV Automatic Computer C 800).

Nach der freiwillig erbrachten Leistung wurden die Patienten mit künstlichen Aorten- oder Mitralklappen in Leistungsgruppen eingeteilt, je nachdem ob sie sich zu 100, 75 oder 50% ihres Sollwertes belasteten. Die Normwerte der Pulmonalarterienmitteldrucke, bezogen auf das jeweilige Herzminutenvolumen, wurden nach den von Ekelund u. Holmgren [6] angegebenen Regressionsgleichungen in Ruhe und auf jeder Belastungsstufe ermittelt. Lagen die gemessenen Werte über den errechneten, wurde ihre prozentuale Abweichung von der Normgrenze angegeben. Der Normwert

des Herzminutenvolumens für jede auf den einzelnen Belastungsstufen geforderte Leistung wurde ebenfalls den von Ekelund u. Holmgren angegebenen Regressionsgleichungen entnommen. Für jeden erniedrigt gemessenen Wert wurde das prozentuale Defizit, bezogen auf die unterste Normgrenze, berechnet. Als pathologisch wurden nur Normabweichungen von mehr als 10% gewertet.

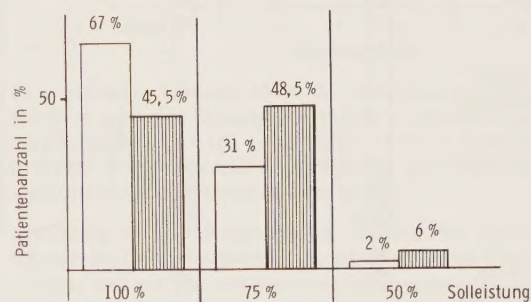
Die statistische Auswertung erfolgte nach dem χ^2 - und dem U-Test von Mann-Whitney.

Ergebnisse

Aortenklappenersatz

Anzahl der Patienten mit 100-, 75- bzw. 50%iger Leistungsfähigkeit: Von insgesamt 42 Patienten mit künstlicher Aortenklappe leisteten 28 (67%) 100%, 13 Patienten (31%) 75% und ein Patient (2%) 50% des Sollwertes (Abbildung 1).

Anzahl der Patienten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit mit normaler Druck-Fluß-Beziehung in Ruhe und auf den verschiedenen Belastungsstufen: In Ruhe fanden sich bei allen Patienten, die 100 und 75% ihrer



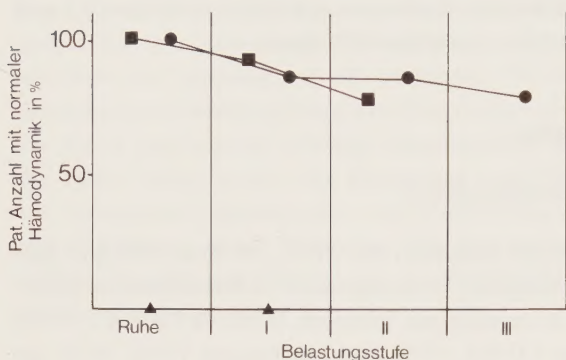
helle Säulen = Patienten mit künstlicher Aortenklappe, gestreifte Säulen = Patienten mit künstlicher Mitralklappe. – white columns = patients with aortic valve replacement, striped columns = patients with mitral valve replacement.

Abbildung 1. Anzahl der Patienten mit künstlicher Aortenklappe (n = 42) oder künstlicher Mitralklappe (n = 33), die 100, 75 oder 50% ihrer Sollleistung erbrachten. Zwei-Drittel der Patienten mit künstlicher Aortenklappe und knapp die Hälfte derer mit künstlicher Mitralklappe waren ausbelastbar. Insgesamt erbrachten über 90% aller Patienten mindestens 75% ihrer Sollleistung.

Figure 1. Number of patients with prosthetic aortic (n = 42) or mitral valves (n = 33) achieving 100, 75 or 50% of their predicted exercise capacity. Two-thirds of the patients with aortic valve replacement and about one-half of those with mitral valve replacement attained 100% of predicted values. More than 90% of all patients were able to perform at least 75% of their predicted capacity.

Solleistung erbrachten, normale Pulmonalarterien-drücke und normale Herzminutenvolumina.

Auf der ersten Belastungsstufe zeigten 24 (86%) der 28 ausbelastbaren Patienten und zwölf (92%) der 13 Patienten, die sich zu 75% belasteten, einen normalen Anstieg von Pulmonalarterien- und Herzminutenvolumen.



● = erbrachte Leistung 100% des Sollwertes [n = 28] – achieved 100% of predicted capacity [n = 28]; ■ = erbrachte Leistung 75% des Sollwertes [n = 13] – achieved 75% of predicted capacity [n = 13]; ▲ = erbrachte Leistung 50% des Sollwertes [n = 1] – achieved 50% of predicted capacity [n = 1].

Auf der zweiten Belastungsstufe lag bei 24/28 (86%) der ausbelastbaren Patienten unverändert und bei 10/13 (77%) der Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit eine normale Hämodynamik vor.

Somit läßt sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen nachweisen.

Abbildung 2. Aortenklappenersatz: Anzahl der Patienten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit mit normaler Druck-Fluß-Beziehung in Ruhe und auf den verschiedenen Belastungsstufen. Patienten, die 100 oder 75% ihrer Solleistung erbrachten, wiesen in vergleichbar hohem Prozentsatz in Ruhe, auf der ersten und zweiten Belastungsstufe ein normales Druck-Fluß-Verhalten auf. Bei einem Patienten, der nur 50% seines Sollwertes leisten konnte, lagen bereits in Ruhe abnorme hämodynamische Veränderungen vor.

Figure 2. Aortic valve replacement. Number of patients with normal pressure-flow relationships at rest and during the incremented stages of exercise, grouped with respect to achieved exercise capacity. A comparable percentage of both patients who were able to perform 100% and those able to perform 75% of their predicted capacity demonstrated normal pressure-flow relationships at rest which were maintained through the first and second workloads. In one patient who was able to attain only 50% predicted capacity, abnormal hemodynamics were already present at rest.

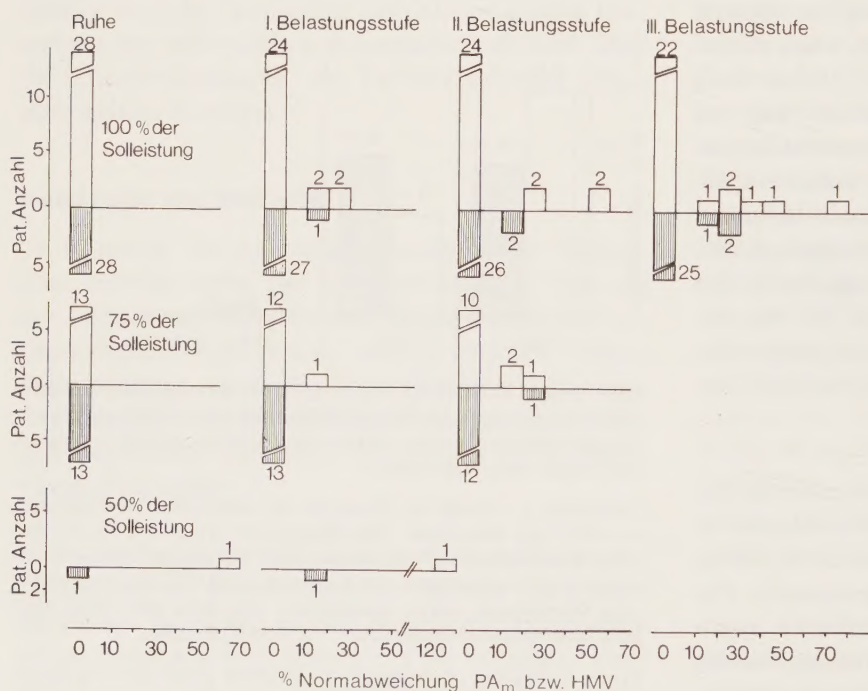


Abbildung 3. Aortenklappenersatz: Histogramm, das die Verteilung der prozentualen Normabweichung von Pulmonalarterienmitteldruck (PAM) und Herzminutenvolumen (HVM) bei Patienten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit (100, 75 und 50% des Sollwertes) in Ruhe und auf den verschiedenen Belastungsstufen zeigt. Es wurden Patienten mit Normabweichungen zwischen 10 und 20%, 20 und 30% usw. zusammengefaßt. Die jeweilige Patientenanzahl mit normalem oder überhöhtem Pulmonalarterien-druckanstieg wurde nach oben und die mit normalem bzw. vermindertem Herzminutenvolumenanstieg nach unten aufgetragen. Das Ausmaß der Normabweichungen von Pulmonalarterien- und Herzminutenvolumen ist bei Patienten mit 100- und 75%iger Leistungsfähigkeit nicht unterschiedlich. Auf höheren Belastungsstufen zeigt sich eine Tendenz zu größeren Normabweichungen.

Figure 3. Aortic valve replacement. Histogram showing the distribution of the percent deviation of the pulmonary artery pressure (PAM) and cardiac output (HVM) with respect to achieved exercise capacity (100,

75 or 50%) at rest and during the incremented workloads. Patients were grouped according to percent deviation from the norm, 10 to 20%, 20 to 30%, etc. The respective number of patients with normal or pathologically-elevated pulmonary artery pressure increase are shown above and those with normal or diminished increase in cardiac output below. The extent deviation of pulmonary artery pressure and cardiac output did not differ between those reaching 100% and those reaching 75% of their predicted exercise capacity. At higher workloads, there is a tendency to more marked deviations.

Auf der dritten Belastungsstufe fand sich bei 22/28 (78%) der ausbelastbaren Patienten eine normale Druck-Fluß-Beziehung.

Bereits in Ruhe wies der Patient, der sich nur zu 50% belastete, einen erhöhten Pulmonalarteriendruck und auf der ersten Belastungsstufe zusätzlich einen verminderten Anstieg des Herzminutenvolumens auf (Abbildung 2).

Ausmaß der prozentualen Normabweichung von Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen bei Patienten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit in Ruhe und auf den verschiedenen Belastungsstufen: Auf Belastungsstufe I betrugen bei vier der ausbelastbaren Patienten die Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks 15 bis 30%, die nur bei einem Patienten zu beobachtende Normabweichung des Herzminutenvolumens 13%. Bei einem Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit lag eine Normabweichung des Pulmonalarteriendrucks von 12,5% bei normalem Herzminutenvolumen vor.

Auf der zweiten Belastungsstufe fanden sich bei vier der ausbelastbaren Patienten Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks von 25,5 bis 54% mit Normabweichungen des Herzminutenvolumens bei zwei dieser Patienten von 12 bzw. 18%. Bei drei der Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit wurden Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks von 16 bis 23% bei einer Abweichung des Herzminutenvolumens von 30% gemessen.

Somit zeigt sich kein deutlicher Unterschied bei Patienten mit 100- und 75%iger Leistungsfähigkeit im Ausmaß der Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks und des Herzminutenvolumens.

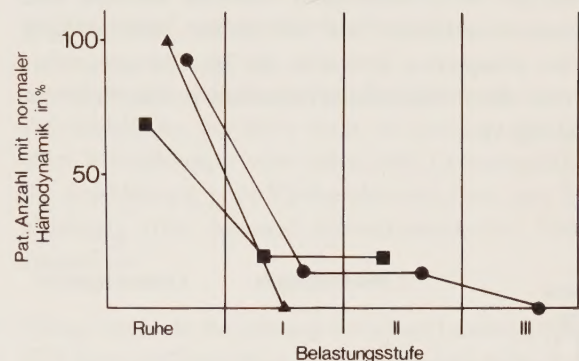
Auf Belastungsstufe III stieg die Normabweichung des Pulmonalarteriendrucks bei sechs Patienten in einen Bereich von 19 bis 72% an, die des Herzminutenvolumens lag bei drei Patienten in einem Bereich zwischen 10 und 23%.

In Ruhe zeigte sich bei dem Patienten, der sich nur zu 50% belastete, ein um 67% überhöhter Pulmonalarteriendruck mit normalem Herzminutenvolumen; auf der ersten Belastungsstufe stieg die Normabweichung des Pulmonalarteriendrucks auf 121,5% an, die des Herzminutenvolumens betrug 17% (Abbildung 3).

Mitralklappenersatz

Anzahl der Patienten mit 100-, 75- bzw. 50%iger Leistungsfähigkeit: Von 33 Patienten mit künstlicher Mitralklappe leisteten 15 Patienten (45,5%) 100%, 16 Patienten (48,5%) 75% und zwei Patienten (6%) 50% des Sollwertes (Abbildung 1).

Anzahl der Patienten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit mit normaler Druck-Fluß-Beziehung in Ruhe und auf den verschiedenen Belastungsstufen: Während in Ruhe 14/15 (93%) der ausbelastbaren Patienten und 11/16 (69%) der Patienten, die 75% ihrer Solleistung erreichten, normale Pulmonalarteriendrucke und Herzminutenvolumina aufwiesen, zeigten auf der ersten Belastungsstufe nur zwei (13%) der 15 ausbelastbaren Patienten und drei (19%) der 16 Patienten, wel-



● = erbrachte Leistung 100% des Sollwertes [n = 15] – achieved 100% of predicted capacity [n = 15]; ■ = erbrachte Leistung 75% des Sollwertes [n = 16] – achieved 75% of predicted capacity [n = 16]; ▲ = erbrachte Leistung 50% des Sollwertes [n = 2] – achieved 50% of predicted capacity [n = 2].

Abbildung 4. Mitralklappenersatz: Anzahl der Patienten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit mit normaler Druck-Fluß-Beziehung in Ruhe und auf den verschiedenen Belastungsstufen. In Ruhe wies der Großteil der Patienten normale Drücke und Herzminutenvolumina auf. Die Anzahl der Patienten mit normalen hämodynamischen Parametern bei 100- und 75%iger Leistungsfähigkeit fiel auf der ersten und zweiten Belastungsstufe zu einem vergleichbar niedrigen Prozentsatz ab, auf der dritten Belastungsstufe zeigte kein Patient ein normales Druck-Fluß-Verhalten. Nur bei deutlich eingeschränkter Leistungsfähigkeit ließen sich bereits auf der ersten Belastungsstufe bei allen Patienten abnorme hämodynamische Veränderungen nachweisen.

Figure 4. Mitral valve replacement. Number of patients with normal pressure-flow relationship at rest and at incremented workloads, with respect to achieved exercise capacity. At rest, the majority of patients had normal pressures and cardiac outputs. The number of patients with 100 or 75% exercise capacity who maintained normal hemodynamics through stages I and II decreases comparably and markedly; no patient maintained normal hemodynamics in stage III. Only in those patients with clearly compromised exercise capacity were hemodynamic abnormalities observed in all cases at the initial workload.

che sich zu 75% belasteten, einen normalen Anstieg von Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen.

Auf der zweiten Belastungsstufe lag unverändert bei 2/15 (13%) und 3/16 (19%) der Patienten mit 100- oder 75%iger Leistungsfähigkeit eine normale Häodynamik vor.

Somit zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Patientengruppen.

Alle ausbelastbaren Patienten wiesen auf der dritten Belastungsstufe einen überhöhten Druckanstieg mit meist inadäquater Herzminutenvolumen-Steigerung auf.

In Ruhe fanden sich bei beiden Patienten (100%), die sich nur zu 50% belasteten, normale Drücke und Herzminutenvolumina. Auf der ersten Stufe stiegen beide bei adäquatem Zuwachs des Herzminutenvolumens mit dem Pulmonalarteriendruck überhöht an (Abbildung 4).

Ausmaß der prozentualen Normabweichung von Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen bei Patienten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit in Ruhe und auf den verschiedenen Belastungsstufen: In Ruhe wies nur einer der ausbelastbaren Patienten eine Abweichung des Pulmonalarteriendrucks von 18% bei normalem Herzminutenvolumen auf. Bei fünf Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit wurden Abweichungen des Pulmonalarteriendrucks von 19 bis 43% und bei einem Patienten eine Abweichung des Herzminutenvolumens von 10% gemessen. Auf Belastungsstufe I lagen bei 13 Patienten mit 100%iger Leistungsfähigkeit Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks von 12,5 bis 82% (Medianwert 37%) und bei neun Patienten Normabweichungen des Herzminutenvolumens von 10 bis 30% vor. Dagegen fanden sich bei 13 Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks von 25 bis 118% (Medianwert 67,5%) und bei elf Patienten Abweichungen des Herzminutenvolumens von 10 bis 33%.

Auf der zweiten Belastungsstufe betrugen bei 13 Pa-

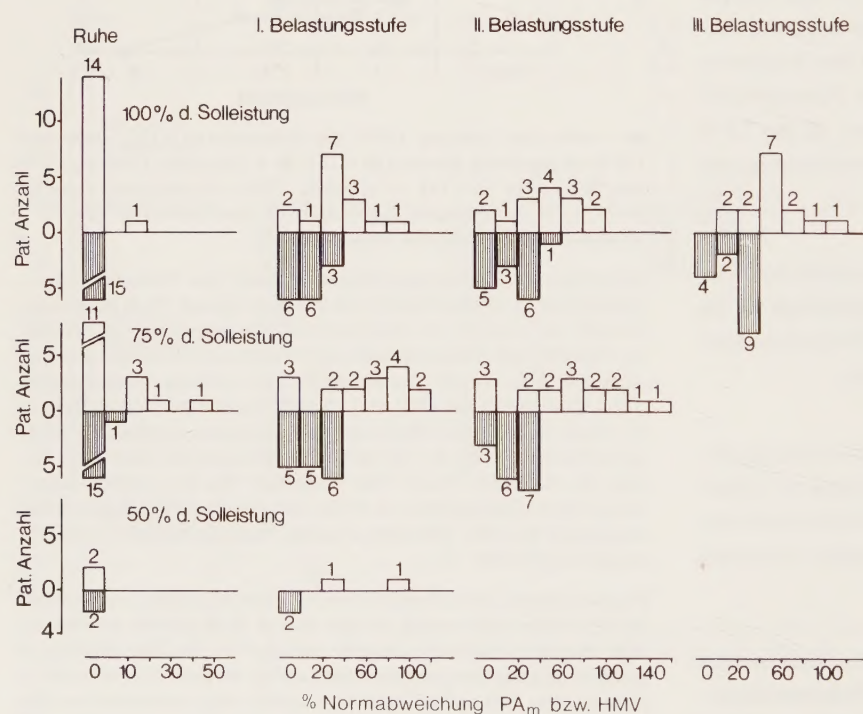


Abbildung 5. Mitralklappenersatz: Histogramm, das die Verteilung der prozentualen Normabweichung von Pulmonalarteriendruck (PAm) und Herzminutenvolumen (HMV) von Patienten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit (100, 75 und 50% des Sollwertes) in Ruhe und auf den verschiedenen Belastungsstufen zeigt. Es wurden Patienten mit Normabweichungen zwischen 10 und 20%, 20 und 30% bzw. 20 und 40%, 40 und 60% zusammengefasst. Die jeweilige Patientenanzahl mit normalem oder erhöhtem Pulmonalarteriendruckanstieg wurde nach oben und die mit normalem bzw. vermindertem Herzminutenvolumenanstieg nach unten aufgetragen. – Das Ausmaß der prozentualen Normabweichung des Pulmonalarteriendrucks wies bei Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit höhere Werte auf als bei ausbelastbaren Patienten. Auf hohen Belastungsstufen zeigte sich eine Tendenz zu stärkeren Normabweichungen.

Figure 5. Mitral valve replacement. Histogram showing the distribution of the percent deviation of the pulmonary artery pressure (PAm) and cardiac output (HMV) with respect to achieved exercise capacity (100, 75 or 50%) at rest and during the

incremented workloads. Patients were grouped according to percent deviation from the norm, 10 to 20%, 20 to 30%, or 20 to 40%, 40 to 60%. The respective number of patients with normal or pathologically-elevated pulmonary artery pressure increase are shown above and those with normal or diminished increase in cardiac output below. The extent of percent deviation from the norm was more marked in patients with 75% exercise capacity than in those with 100%. At higher workloads, there was a tendency to further increased deviations.

tienten, die 100% ihrer Solleistung erbrachten, die Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks 20 bis 95,5% (Medianwert 51%) und bei zehn Patienten die des Herzminutenvolumens 17 bis 29%. Dagegen lagen bei 13 Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit die Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks in einem Bereich von 33,5 bis 148% (Medianwert 68%) und die des Herzminutenvolumens in einem Bereich von 11 bis 42%.

Somit ist das Ausmaß der prozentualen Normabweichung bei ausbelastbaren Patienten signifikant geringer als bei Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit.

Auf der dritten Belastungsstufe wurden bei 15/15 (100%) der ausbelastbaren Patienten Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks von 16,5 bis 108,5% (Medianwert 53,5%) mit einem Herzminutenvolumen-Defizit bei elf Patienten von 16 bis 29% gemessen.

In Ruhe fanden sich bei beiden Patienten, die sich zu 50% belasteten, normale Drücke und Herzminutenvolumina, auf der ersten Belastungsstufe Normabweichungen des Pulmonalarteriendrucks von 21,5 bzw. 100% ohne Verminderung des Herzminutenvolumens (Abbildung 5).

Diskussion

Die vorliegenden Untersuchungen sollen Aufschluß darüber geben, welche Leistung, gemessen an der maximalen aeroben Kapazität einer gesunden Vergleichspopulation, Patienten mit künstlicher Aorten- oder Mitralklappe erbringen können, ob die verschiedenen Belastungsstufen mit normalem Druck- und Herzminutenvolumenanstieg bewältigt werden, welches Ausmaß gegebenenfalls pathologische hämodynamische Veränderungen unter Belastung annehmen und ob zwischen erbrachter Leistung und hämodynamischen Veränderungen eine Beziehung besteht.

Es zeigt sich, daß 98% aller Patienten mit künstlicher Aortenklappe mindestens 75% ihrer Solleistung zu erbringen vermögen und sogar zwei Drittel der Patienten ausbelastbar sind; die Anzahl der Patienten mit pathologischem Druck-Fluß-Verhalten ist dabei mit 10 bis 25% vergleichbar niedrig. Ebenfalls ist das Ausmaß der Normabweichungen von Pulmonalarteriendruck und Herzminutenvolumen gering sowie nicht unter-

schiedlich zwischen ausbelastbaren und 75%ig leistungsfähigen Patienten. Auf höheren Belastungsstufen können im Einzelfall jedoch auch Normabweichungen zwischen 50 und 80% gefunden werden.

Auch 94% der Patienten mit künstlicher Mitralklappe erbringen 75% und nahezu die Hälfte 100% ihrer Solleistung. Im Gegensatz zu Patienten mit künstlicher Aortenklappe weisen jedoch fast alle bereits bei 50%iger Belastung eine pathologische Druck-Fluß-Beziehung auf.

Dabei zeigt sich in der Regel ein deutlich überhöhter Anstieg des Pulmonalarteriendrucks, der sich auf höheren Belastungsstufen nicht mehr signifikant ändert, im Einzelfall jedoch um etwa ein Drittel weiter ansteigen kann. Bei Patienten mit 75%iger Leistungsfähigkeit ist die mittlere Normabweichung des Pulmonalarteriendrucks, gemessen am Medianwert, signifikant größer als bei ausbelastbaren Patienten.

Somit zeigt sich nicht nur bei Patienten mit künstlicher Aortenklappe, sondern auch bei solchen mit künstlicher Mitralklappe eine sehr gute Leistungsfähigkeit, die unabhängig vom Vorhandensein bzw. nur bedingt abhängig vom Ausmaß hämodynamischer Veränderungen ist.

Diese fehlende Beziehung zwischen Leistungsfähigkeit und hämodynamischen Veränderungen wird durch die Beobachtung veranschaulicht, daß von Patienten mit künstlicher Aortenklappe 10/34 (29%) trotz normalen Druck-Fluß-Verhaltens auf der zweiten Belastungsstufe abbrechen, während 4/7 Patienten (57%) mit Normabweichungen auf dieser Stufe die Belastung fortsetzten. Dabei war das Ausmaß der Normabweichungen dieser Patienten zum Teil sogar stärker ausgeprägt als bei denjenigen, die bei pathologischen hämodynamischen Veränderungen abbrechen. Auch von Patienten mit künstlicher Mitralklappe brachen 3/5 (60%) trotz normalen Druck-Fluß-Verhaltens auf der zweiten Stufe die Belastungsuntersuchung ab, während sich 13/26 (50%) mit deutlichen Normabweichungen auf dieser Stufe weiter belasteten.

Somit sagt die Leistungsfähigkeit wenig über den kardialen Zustand aus. Ein Rückschluß auf hämodynamische Veränderungen unter Belastung aufgrund der Leistungsfähigkeit ist weder bei Patienten mit künstlicher Aorten- noch mit künstlicher Mitralklappe möglich.

Findet sich unter Belastung ein pathologisches Druck-Fluß-Verhalten, so tritt dieses bei fast allen Patienten mit künstlicher Mitralklappe und bei zwei Drittel der Patienten mit künstlicher Aortenklappe bereits auf der ersten Belastungsstufe auf. Zur routinemäßigen Erfassung hämodynamischer Normabweichungen erscheint somit eine Belastung auf dieser Stufe angezeigt. Da bei Patienten, die bei 50% ihres Sollwertes keine Normabweichungen aufweisen, auch in höheren Belastungsbereichen allenfalls mit geringen Veränderungen zu rechnen ist, können diese als ausbelastbar angesehen werden.

Bestehen bereits auf der ersten Belastungsstufe stärkere Normabweichungen (über 50%), empfehlen sich zur Festlegung der individuellen Belastbarkeit hämodynamische Messungen auf niedrigeren Vorstufen (zum Beispiel 25% des Sollwertes). Bei leicht- bis mäßiggradigen hämodynamischen Veränderungen auf der ersten Belastungsstufe (Normabweichung unter 50%) sollte auch auf höheren Stufen untersucht werden, da Patienten mit künstlicher Aorten- als auch Patienten mit künstlicher Mitralklappe einen überschießenden Druckanstieg aufweisen können. Ohne weitere Messung auf höheren Belastungsstufen sollte bei diesen Patienten die Belastbarkeit strikt bei 50% des Sollwertes angesetzt werden.

Aufgrund des Befundes, daß Patienten mit künstlicher Aortenklappe und 75- bzw. 100%iger Leistungsfähigkeit auf der ersten Belastungsstufe Normabweichungen des Pulmonalarteriendruckes von 12,5 bis 30% (bis 7 mm Hg) und ein maximales Herzminutenvolumen-Defizit von 13% (1,3 l/min) aufweisen, kann auf hämodynamische Messungen verzichtet werden, wenn der Patient seine körperlichen Aktivitäten soweit einschränkt, daß 50% seines Sollwertes in der Regel nicht überschritten werden. Sind hämodynamische Messungen unter Belastung nicht möglich, sollten sich Patienten mit künstlicher Mitralklappe dagegen grundsätzlich so wenig wie möglich belasten.

Auch die Beurteilung von Symptomatik, Herzfrequenzverhalten und steady state von Frequenz und Blutdruck auf den einzelnen Belastungsstufen erlaubt keinen eindeutigen Rückschluß auf die Druck-Fluß-Beziehung. Lediglich bei Patienten mit künstlicher Mitralklappe war bei überhöhtem Frequenzanstieg stets eine pathologisch veränderte Hämodynamik zu beobachten, jedoch schließt ein normales Frequenz-

verhalten eine abnorme Druck-Fluß-Beziehung nicht aus.

Das unterschiedliche Verhalten von Pulmonalarterien- und Herzminutenvolumen bei Patienten mit künstlicher Aorten- oder Mitralklappe unter Belastung scheint von einer Vielzahl von Faktoren abhängig zu sein, besonders von Klappentyp und -größe, Lungenarteriolenwiderstand und linksventrikulärer Funktion [9, 10, 12, 15, 16, 19].

Literatur

1. Aberg, B., R. Jonasson: Central haemodynamics at rest and during exercise before and after combined aortic and mitral valve replacement with the Björk-Shiley tilting disc valve prosthesis. *Scand. J. thorac. cardiovasc. Surg.* 14 (1980), 21.
2. Andersen-Lange, K., R.J. Shephard, H. Denolin, E. Varnauskas, R. Masironi: Fundamentals of exercise testing. WHO, Genf 1971.
3. Björk, V.O., K. Böök, C. Cernigliaro, A. Holmgren: The Björk-Shiley tilting disc valve in isolated mitral lesions. *Scand. J. thorac. cardiovasc. Surg.* 7 (1973), 131.
4. Björk, V.O., A. Henze, A. Holmgren: Central haemodynamics at rest and during exercise before and after aortic valve replacement with the Björk-Shiley tilting disc valve in patients with isolated aortic stenosis. *Scand. J. thorac. cardiovasc. Surg.* 7 (1973), 111.
5. Björk, V.O., A. Henze, A. Holmgren: Central haemodynamics at rest and during exercise before and after operation with the Björk-Shiley tilting disc valve in patients with aortic incompetence. *Scand. J. thorac. cardiovasc. Surg.* 7 (1973), 214.
6. Ekelund, L.G., A. Holmgren: Central haemodynamics during exercise. *Circulat. Res.* 20/21 (1967), Suppl. 1.
7. Froer, K.L., A. Gehrke, L. Goedel-Meinen, H. Petri, C. Lora-cher, W. Rudolph: Langzeitbetreuung von Patienten nach künstlichem Herzklappenersatz. *Herz* 2 (1977), 275.
8. Gehrke, A., L. Goedel-Meinen, L. Goppel, H. Rinke, M. Späth, W. Rudolph: Die Leistungsfähigkeit von Patienten mit künstlichen Herzklappen in Aorten- und Mitralkposition. *Z. Kardi-ol. Suppl.* 3 (1976), 74.
9. Gehrke, A., L. Goedel-Meinen, A. Redl, W. Rudolph: Die Belastbarkeit von Patienten nach Aorten-(AK) bzw. Mitralklap-penersatz (MK) und deren Zusammenhang mit präoperativen Daten. *Verh. dtsh. Ges. Kreisl.-Forsch.* 43 (1977), 396.
10. Haerten, K., A. Both, Chr. Credner, F. Loogen, J. Lück: Bela-stungsuntersuchungen nach prothetischem Klappenersatz. *Med. Welt (Stuttg.)* 28 (1977), 107.
11. Haerten, K., J. Lück, D. Brandt, A. Both, G. Blümchen, F. Loogen: Vergleichende Belastungsuntersuchungen im 1. post-operativen Jahr nach prothetischem Mitralklappenersatz unter Berücksichtigung rehabilitativer Maßnahmen. *Verh. dtsh. Ges. inn. Med.* 83 (1977), 359.
12. Huhmann, W.: Zur Rehabilitationsfähigkeit von Patienten mit Mitralklappenprothesen. *Z. Kardi-ol.* 66 (1977), 491.
13. Huhmann, W., P.R. Lichtlen, A.F. Rickards, M. Yacoub, H.G. Borst: Hämodynamischer Vergleich von Starr-Edwards-, Lille-hei-Kaster- und Homograft-Klappen in Mitralkposition. *Z. Kar-di-ol.* 67 (1978), 667.
14. Kober, G., H. Schneider, H.-J. Becker, M. Kaltenbach: Aorten-klappenersatz durch Kunststoff- und Gewebe-Prothesen. *Dtsch. med. Wschr.* 100 (1975), 1113.
15. Kraus, F., S. Dacian, E. Fleck, D. Hall, K.L. Froer, W. Rudolph: Belastbarkeit nach Herzklappenersatz: Vergleich Bioprothesen (Bio) mit Björk-Shiley (BS) Klappen. *Z. Kardi-ol.* 68 (1979), 624.

16. Kraus, F., S. Dacian, L. Goppel, K.L. Froer, W. Rudolph: Einfluß der präoperativen Ventrikelfunktion (VF) auf die postoperative Druck-Fluß-Beziehung unter Belastung (Bel) bei Mitral- (MK) und Aortenklappenersatz (AK). Z. Kardiologie. 69 (1980), 198.
17. Mellerowicz, H.: Ergometrie. Grundriß der medizinischen Leistungsmessung. Urban & Schwarzenberg, München–Wien–Baltimore 1979.
18. Swan, H.J.C., W. Ganz: Guidelines for use of balloon-tipped catheter. Amer. J. Cardiol. 34 (1974), 119.
19. Thormann, J., M. Gottwick, M. Schlepper, H. Hidajat: Ein Vergleich belastungsinduzierter hämodynamischer Änderungen nach Aortenklappenersatz mit Björk-Shiley- und SJM-Prothesen; die Inkonstanz der kalkulierten Aortenklappenöffnungsfläche unter Belastungsbedingungen. Z. Kardiologie. 69 (1980), 100.
20. Uhrenholdt, A., P. Henningsen, I.H. Rygg, P. Lauridsen: Pre- and postoperative clinical and haemodynamic results after prosthetic replacement of cardiac valves. Scand. J. thorac. cardiovascular Surg. 7 (1973), 31.

Für die Verfasser: Prof. Dr. Werner Rudolph, Direktor der Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen, Deutsches Herzzentrum, Lothstraße 11, D-8000 München 2.

L E B E N S L A U F

Geboren am 19. Dezember 1949 in Hohenwart/Obb. als Tochter des Universitätsprofessors

Dr. oec. publ. habil Otto Joseph Kraus und seiner Ehefrau Sophia Maria Kraus.

Von 1956 bis 1960 Besuch der Volksschule und von 1960 bis 1969 Besuch des Neusprachlichen Gymnasiums in München.

Beginn des Studiums der Humanmedizin im Wintersemester 69/70 an der Ludwig Maximilians-Universität München.

Ablegung der ärztlichen Prüfung im Sommer 1975.

Februar 1976 bis Ende Januar 1977 Medizinalassistentin an der I. Medizinischen Klinik der Universität München, an der Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen sowie an der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie des Deutschen Herzzentrums München.

Seit Februar 1977 Assistenzärztin an der Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen des Deutschen Herzzentrums München, Direktor: Prof. Dr. Werner Rudolph

